

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
20 octobre 2005 (20.10.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/098494 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **G02B 6/22**,
H01S 3/067

Gaulle, F-91400 Orsay (FR). **GASCA, Laurent** [FR/FR];
3, rue Marcel Pagnol, F-91140 Villebon-Sur-Yvette (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/000803

(74) Mandataire : **COMPAGNIE FINANCIERE ALCA-
TEL IPG**; 54 rue La Boétie, F-75008 Paris (FR).

(22) Date de dépôt international : 1 avril 2005 (01.04.2005)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0450665 2 avril 2004 (02.04.2004) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ALCA-
TEL** [FR/FR]; 54, rue la Boétie, F-75008 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

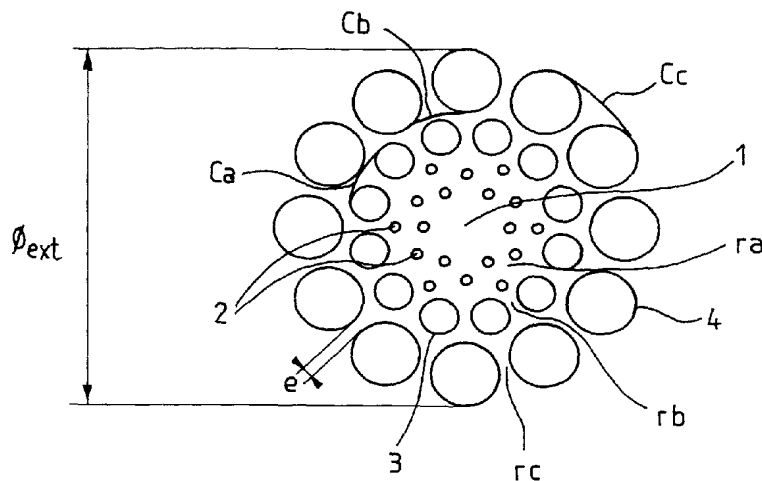
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **PROVOST,
Lionel** [FR/FR]; 54, Chemin du Moulin, F-91460 Mar-
coussis (FR). **MELIN, Gilles** [FR/FR]; 43 rue Charles de

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HOLLOW OPTICAL FIBRE

(54) Titre : FIBRE OPTIQUE A TROUS



(57) Abstract: The invention relates to optical fibres provided with cavities in the structure thereof. The inventive optical fibre comprises a central core (1), a first annular area (ra) encompassing said central core (1), a second annular area (rb) encompassing the first annular area (ra) and containing average size cavities (3) whose cross section is strictly ranges between a first specified threshold and a second specified threshold strictly greater than the first threshold, a third annular area (rc) encompassing the second annular area (rb) and containing large size cavities (4) whose cross section is strictly greater than the second threshold. In the cross section of the optical fibre, each beam coming away from the core centre outwards the optical fibre meets at least the average size cavity (3) of the second annular area (rb) or the large size cavity (4) of the third annular area (rc), wherein the mean distance between the external perimeter (Ca) of the second annular area (rb) and the internal perimeter (Cb) of the third annular area (rc) is less than half the mean dimension of the large size cavity (4).

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/098494 A1



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

(57) Abrégé : L'invention concerne le domaine des fibres optiques présentant des cavités dans leur structure. C'est une fibre optique comprenant : un cœur central (1) ; une première région annulaire (ra) entourant le cœur central (1) ; une deuxième région annulaire (rb) entourant la première région annulaire (ra) et comprenant des cavités (3) de moyenne taille dont la section transversale reste strictement comprise entre un premier seuil donné et un deuxième seuil donné strictement supérieur au premier seuil ; une troisième région annulaire (rc) entourant la deuxième région annulaire (rb) et comprenant des cavités (4) de grande taille dont la section transversale reste strictement supérieure au deuxième seuil ; dans une section transversale de la fibre optique, d'une part, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique rencontre au moins, soit une cavité (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb), soit une cavité (4) de grande taille appartenant à la troisième région annulaire (rc) ; et d'autre part, la distance moyenne entre le périmètre extérieur (Ca) de la deuxième région annulaire (rb) et le périmètre intérieur (Cb) de la troisième région annulaire (rc) est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité (4) de grande taille.

FIBRE OPTIQUE A TROUS

L'invention concerne le domaine des fibres optiques présentant des cavités dans leur structure, ces fibres optiques étant plus communément appelées fibres optiques « à trous ». Un des intérêts majeurs des fibres optiques à trous est la présence de cavités dont l'indice très bas permet de diminuer de manière importante l'indice moyen des régions annulaires de la gaine comportant ces cavités.

Pour la réalisation de certaines fonctions non linéaires, les fibres optiques à trous représentent la famille de fibres optiques la plus intéressante. Un certain type de fibres optiques à trous comporte deux couches de cavités, une couche plus proche du centre de la fibre optique et comprenant surtout des cavités de taille relativement petite ou même pas de cavités du tout, cette couche interne ayant pour fonction principale d'influer sur les propriétés de la fibre optique, à savoir notamment la surface effective et la dispersion chromatique, et une couche plus éloignée du centre de la fibre optique comprenant des cavités de taille relativement grande, cette couche externe ayant pour fonction principale le confinement des modes à l'intérieur de la fibre optique.

Un des problèmes majeurs des fibres optiques à trous est le niveau élevé de pertes par fuite de modes, lequel nécessite, pour être plus ou moins bien résolu, la réalisation de structures complexes et volumineuses, comprenant notamment un grand nombre de cavités assez espacées les unes des autres, ce qui amène un encombrement global qui devient rapidement important. En effet, il est connu que le niveau de pertes par fuite de mode sera d'autant plus faible que la largeur de l'ensemble des couches comprenant les cavités sera importante. Par ailleurs, une taille unique de cavités dans la couche externe est généralement considérée comme suffisante.

Des exemples de ce type de structure peuvent être trouvés dans les documents de l'art antérieur, parmi lesquels citons :

- des brevets et demandes de brevet : US 2003/0012535 ; US 2002/0061176 ; US 2001/0031118 ; EP 1118887 ; EP 0810453 ; WO 03/019257 ; WO 02/084350 ; WO 01/98819 ; US 6539155 ;

- des publications : « Dispersion flattened hybrid-core non linear photonic crystal fiber » par K.P. Hansen, dans Opt. Express 11, pages 1503-1509, en 2003 ; « Chromatic dispersion control in photonic crystal fibers : application to ultra-flattened dispersion » par K. Saitoh, M. Koshiba, T. Hasegawa, et E. Sasaoka, dans Opt. Express 11, pages 843-852, en 2003.

L'invention est aux antipodes de cette technique de l'art antérieur.

10 L'invention vise une structure moins encombrante mais plus serrée de manière à présenter un degré élevé de confinement des modes dans la fibre optique. Au moins deux tailles différentes de cavités judicieusement disposées les unes par rapport aux autres sont utilisées dans la couche externe de manière à pouvoir coopérer entre elles de façon à augmenter encore le degré de confinement tout

15 en maintenant un encombrement raisonnable. Il s'agit d'obtenir un faible niveau de pertes de confinement, c'est-à-dire par fuite de modes, pour un nombre restreint de cavités, c'est-à-dire de l'ordre de quelques dizaines de cavités seulement, typiquement moins de cinquante cavités.

Selon l'invention, il est prévu une fibre optique comprenant : un cœur

20 central ; une première région annulaire entourant le cœur central ; une deuxième région annulaire entourant la première région annulaire et comprenant des cavités de moyenne taille dont la section transversale reste strictement comprise entre un premier seuil donné et un deuxième seuil donné strictement supérieur au premier seuil ; une troisième région annulaire entourant la deuxième région

25 annulaire et comprenant des cavités de grande taille dont la section transversale reste strictement supérieure au deuxième seuil ; caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, : d'une part, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique rencontre au moins, soit une cavité de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, soit une cavité de

30 grande taille appartenant à la troisième région annulaire ; et d'autre part, la

distance moyenne entre le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire et le périmètre intérieur de la troisième région annulaire est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité de grande taille. Il est important que la structure des cavités ne présente pas de chemin de silice vers l'extérieur par lequel le mode pourrait quitter le centre de la fibre optique ; c'est pourquoi, la distribution serrée et régulière selon l'invention, c'est-à-dire sans « couloir de silice », c'est-à-dire sans endroit ne comportant pas ou seulement peu de cavités, est particulièrement intéressante. De préférence, dans une section transversale de la fibre optique, la distance moyenne entre le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire et le périmètre intérieur de la troisième région annulaire est inférieure au quart de la dimension moyenne d'une cavité de grande taille.

Selon un autre objet de l'invention, pour une application de la fibre optique consistant à réaliser une fonction non linéaire à l'aide de la fibre optique, il est aussi prévu une fibre optique comprenant : un cœur central (1) ; une gaine (rb et rc) entourant le cœur central (1) et comprenant des cavités (3, 4) ; et présentant, entre 1530nm et 1570nm : une surface effective inférieure ou égale à $10\mu\text{m}^2$; une dispersion chromatique inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm.km ; caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 70 cavités disposées de manière à ce que l'atténuation globale de la fibre optique reste inférieure à 10dB/km. La gaine de la fibre optique comprend de préférence moins de 50 cavités.

L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des dessins joints, donnés à titre d'exemples, où :

- la figure 1 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique à trous selon l'invention ;
- la figure 2 représente schématiquement à la fois les courbes de dispersion chromatique et de pente de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 1 ;

- la figure 3 représente schématiquement la courbe de la surface effective en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 1 ;
- les figures 4 et 5 représentent schématiquement la section de deux autres exemples de fibre optique à trous selon l'invention ;
- 5 - la figure 6 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique à trous à maintien de polarisation selon l'invention ;
- la figure 7 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique dopée à trous selon l'invention ;
- la figure 8 représente schématiquement la section d'un autre exemple de
- 10 fibre optique à trous à maintien de polarisation selon l'invention ;
- la figure 9 représente schématiquement la section d'un autre exemple particulièrement avantageux de fibre optique à trous selon l'invention ;
- la figure 10 représente schématiquement la courbe de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure
- 15 9.

De préférence, afin d'améliorer le compromis entre le confinement de mode dans la structure de la fibre optique et l'encombrement de la structure de la fibre optique, parmi les cavités de grande taille appartenant à la troisième région

20 annulaire, au moins 10 cavités de grande taille sont situées sur une même couche annulaire et présentent chacune un rapport entre d'une part leur plus grande dimension et d'autre part la distance du centre de la cavité au centre du cœur qui est supérieur à 0.3. L'espace situé entre deux cavités de grande taille, qui sont

25 contiguës et qui appartiennent à la troisième région annulaire, est avantageusement inférieur à la longueur d'onde d'utilisation de la fibre optique, ce qui améliore encore le confinement de mode dans la fibre optique. Avantageusement, pour des raisons pratiques de réalisation, les cavités de grande taille appartenant à la troisième région annulaire et étant situées sur une même couche annulaire sont au nombre de 12.

De préférence, encore afin d'améliorer le compromis entre le confinement de mode dans la structure de la fibre optique et l'encombrement de la structure de la fibre optique, parmi les cavités de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, au moins 10 cavités de moyenne taille sont d'une part situées sur une même couche annulaire et d'autre part angulairement décalées par rapport aux cavités de grande taille de manière être situées en regard des espaces existant entre cavités de grande taille. Avantageusement, pour des raisons pratiques de réalisation, les cavités de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire et étant situées sur une même couche annulaire sont au nombre de 12.

De préférence, la première région annulaire comprend des cavités de petite taille dont la section transversale reste strictement inférieure au premier seuil. Ces cavités de petite taille ont une fonction de modulation de certaines propriétés de la fibre optique comme la surface effective ou la dispersion chromatique par exemple. Dans une section transversale de la fibre optique, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique, lorsqu'il balaye angulairement un secteur angulaire entre deux cavités de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, rencontre préférentiellement au moins, une cavité appartenant soit à la deuxième région annulaire soit à la première région annulaire, sur au moins une partie du secteur angulaire balayé. Par exemple, entre deux cavités contiguës de moyenne taille, se trouve une cavité de petite taille. Cette cavité de petite taille n'a pas besoin de couvrir angulairement tout l'espace situé entre les deux cavités de moyenne taille, car c'est la position plus que la taille des cavités de petite taille qui leur permet de coopérer avec les autres cavités de moyenne et de grande taille de façon à améliorer le confinement de mode dans la fibre optique. De manière préférentielle, afin d'augmenter le confinement de mode tout en maintenant un encombrement raisonnable, la distance moyenne entre le périmètre extérieur de la première région annulaire et le périmètre intérieur de la deuxième région annulaire est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité de moyenne taille.

Dans un mode de réalisation préférentiel, d'une part la deuxième région annulaire et la troisième région annulaire sont circulaires, leur maille étant alors circulaire, et d'autre part la première région annulaire est hexagonale, sa maille étant alors triangulaire. Ce qui permet une fabrication plus simple de la préforme dont sera issue par fibrage la fibre optique à trous selon l'invention. Cette disposition permet d'augmenter la densité de cavité au détriment de la densité de silice, ce qui diminue l'indice équivalent et participe au confinement de mode dans la fibre optique tout en réduisant encore l'encombrement.

De préférence, la troisième région annulaire ne comporte qu'une seule couche de cavités qui sont de grande taille. La deuxième région annulaire ne comporte avantageusement qu'une seule couche de cavités qui sont de moyenne taille. Toutefois, ces régions annulaires peuvent aussi comporter plusieurs couches de cavités ou inclure des cavités de taille différente entre elles.

La fibre optique à trous selon l'invention est de préférence une fibre optique monomode, à la longueur d'onde d'utilisation. Pour cela, la plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique, c'est-à-dire dans le cas d'une répartition circulaire, le diamètre externe de la troisième région annulaire, est limitée. Le diamètre externe maximal admissible pour conserver à la fibre optique son caractère monomode dépend de la structure précise de la fibre optique à trous, c'est-à-dire notamment de la taille et de la disposition des cavités. De préférence, la plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à $30\mu\text{m}$. La plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est avantageusement inférieure à $25\mu\text{m}$ et plus avantageusement encore inférieure à $20\mu\text{m}$.

La fibre optique à trous selon l'invention présente avantageusement une surface effective faible de manière à augmenter les effets non linéaires dont le cœur central de la fibre optique est le siège et par là accentuer une fonction non linéaire que pourrait remplir la fibre optique à trous. De préférence, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à $10\mu\text{m}^2$. Dans la première

région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit avantageusement inférieure à $5\mu\text{m}^2$.

De manière à ce que ladite fonction non linéaire soit le plus uniforme possible sur une bande spectrale donnée, la dispersion chromatique est choisie la plus faible possible et la plus uniforme possible sur ladite bande spectrale. La bande C allant de 1530nm à 1570nm est une bande préférentielle d'utilisation. Par conséquent, de préférence, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique de la fibre optique entre 1530nm et 1570nm, voire entre 1500nm et 1625nm, reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km, voire inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km. Dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce qu'une longueur d'onde de dispersion nulle soit avantageusement comprise entre 1530nm et 1570nm.

Des exemples de fonction, notamment non linéaire, que peut remplir une fibre optique à trous selon l'invention vont maintenant être donnés.

Par exemple, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la répartition des cavités dans la première région annulaire présente au plus deux symétries axiales. Ainsi, la fibre optique peut remplir une fonction de maintien de polarisation.

Lorsque le cœur de la fibre optique à trous selon l'invention est dopé avec une terre rare, la fibre optique à trous selon l'invention peut être utilisée pour réaliser une cavité laser ou bien un dispositif d'amplification.

Lorsque le cœur de la fibre optique à trous selon l'invention est dopé avec un élément ou plusieurs éléments parmi le Germanium, le phosphore, le plomb, le bismuth, le lithium ou le niobium, la fibre optique à trous selon l'invention peut être utilisée pour réaliser un dispositif d'amplification Raman.

La fibre optique à trous selon l'invention peut aussi être utilisée pour réaliser un dispositif de conversion en longueur d'onde, un dispositif de démultiplexage en longueur d'onde, un dispositif de régénération optique de signal optique, ou un dispositif de filtrage optique incluant un absorbant saturable.

Des exemples de fibres optiques à trous selon l'invention ainsi que certaines de leurs propriétés vont maintenant être présentées en relation avec les figures. De manière générale, sur les figures 1 et 4 à 9, la section droite de fibre optique représentée présente un cœur 1, une première région annulaire comprenant au moins des cavités 2 de petite taille, une deuxième région annulaire comprenant au moins des cavités 3 de moyenne taille, une troisième région annulaire comprenant au moins des cavités 4 de grande taille. Les régions annulaires peuvent aussi comporter une certaine quantité, généralement une minorité, de cavités d'une taille distincte de celle de la majorité des cavités de ladite région annulaire. Le périmètre extérieur d'une région annulaire est le cercle circonscrit à l'extérieur de l'ensemble des cavités de ladite région annulaire. Le périmètre intérieur d'une région annulaire est le cercle inscrit à l'intérieur de l'ensemble des cavités de ladite région annulaire. Lorsque la répartition des cavités n'est pas circulaire, par exemple lorsque c'est un hexagone, le périmètre sera l'hexagone circonscrit ou inscrit correspondant, et de la même manière pour toute autre forme. Sur l'ensemble des figures, la différence entre le périmètre intérieur de la troisième région annulaire comprenant les cavités de grande taille et le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire comprenant les cavités de moyenne taille est inférieure au quart du diamètre moyen d'une cavité de grande taille. Lorsqu'une cavité est circulaire, sa dimension moyenne est son diamètre ; lorsqu'une cavité moyenne n'est pas circulaire, sa dimension moyenne est le diamètre qu'aurait un disque de même surface, étant donné que l'on s'est placé dans une section droite de la fibre optique. Sur les figures, les sections de fibre optique présentent des cavités parfaitement circulaires, ce qui n'est pas le cas dans la pratique où les cavités peuvent être déformées.

La fibre optique de la figure 1 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire ra comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille, une deuxième région annulaire rb constituée d'une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une troisième région annulaire rc constituée d'une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Toutes les

cavités 2 de petite taille ont la même taille. Entre deux cavités 4 de grande taille se trouve un espace e . C_a est le cercle circonscrit à l'extérieur des cavités 3 de moyenne taille constituant la deuxième région annulaire. C_b est le cercle inscrit à l'intérieur des cavités 4 de grande taille constituant la troisième région annulaire.

5 C_c est le cercle circonscrit à l'extérieur des cavités 4 de grande taille constituant la troisième région annulaire. Pour des raisons de clarté de la figure 1, seules des portions des cercles C_a , C_b et C_c sont représentés. La plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est le diamètre extérieur de la couronne des cavités 4 de grande taille lequel est noté Φ_{ext} .

10 La figure 2 représente schématiquement à la fois les courbes f de dispersion chromatique C exprimée en ps/nm.km et g de pente de dispersion chromatique C' exprimée en ps/nm².km en fonction de la longueur d'onde λ exprimée en nm pour la fibre optique de la figure 1. La dispersion chromatique reste inférieure en valeur absolue à 3 ps/nm.km sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm. La pente de dispersion chromatique

15 reste inférieure en valeur absolue à 0.01 ps/nm².km sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm.

La figure 3 représente schématiquement la courbe f de la surface effective S_{eff} exprimée en μm^2 en fonction de la longueur d'onde λ exprimée en nm pour

20 la fibre optique de la figure 1. La surface effective reste comprise entre $5\mu\text{m}^2$ et $6.5\mu\text{m}^2$ sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm.

La fibre optique de la figure 4 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant deux couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille et une couche hexagonale de six cavités 2 de moyenne taille, une

25 couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre deux tailles différentes.

La fibre optique de la figure 5 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2

30 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une

couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois tailles différentes.

La fibre optique de la figure 6 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant des cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois tailles différentes et sont disposées de manière que la structure présente deux axes de symétrie seulement, ce qui rend cette structure intéressante pour la réalisation d'une fibre optique à maintien de polarisation.

La fibre optique de la figure 7 présente un cœur 1 dopé, une première région annulaire comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois tailles différentes. Les autres structures présentées dans les autres figures pourraient également présenter un cœur 1 qui soit dopé.

La fibre optique de la figure 8 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant des cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre deux tailles différentes et présentent une disposition hexagonale. Le diamètre extérieur de cette structure, vaut $15.9\mu\text{m}$. Cette fibre optique présente une biréfringence valant environ $3.5 \cdot 10^{-3}$. A une longueur d'onde de 1550nm, cette fibre optique présente approximativement une dispersion chromatique nulle pour l'une des deux polarisations et une surface effective de $3.6\mu\text{m}^2$.

La fibre optique de la figure 9 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant deux couches hexagonales, respectivement de six et de douze cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent en deux tailles différentes. Le diamètre extérieur de cette structure, vaut $14.8\mu\text{m}$. Cette fibre optique présente une

dispersion chromatique comprise entre 0 et 1 ps/nm.km sur une plage de longueur d'onde s'étendant de 1500nm à 1650nm.

La figure 10 représente schématiquement la courbe de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 9. En ordonnée se trouve la dispersion chromatique C exprimée en ps/nm.km tandis qu'en abscisse se trouve la longueur d'onde λ exprimée en nm. La courbe f de dispersion chromatique reste, entre 1500nm et 1650nm, inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm.km.

REVENDICATIONS

1. Fibre optique comprenant :

- un cœur central (1) ;
- 5 - une première région annulaire (ra) entourant le cœur central (1) ;
- une deuxième région annulaire (rb) entourant la première région annulaire (ra) et comprenant des cavités (3) de moyenne taille dont la section transversale reste strictement comprise entre un premier seuil donné et un deuxième seuil donné strictement supérieur au premier seuil ;
- 10 - une troisième région annulaire (rc) entourant la deuxième région annulaire (rb) et comprenant des cavités (4) de grande taille dont la section transversale reste strictement supérieure au deuxième seuil ;
- caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, :
 - d'une part, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la
 - 15 fibre optique rencontre au moins, soit une cavité (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb), soit une cavité (4) de grande taille appartenant à la troisième région annulaire (rc) ;
 - et d'autre part, la distance moyenne entre le périmètre extérieur (Ca) de la deuxième région annulaire (rb) et le périmètre intérieur (Cb) de la troisième
 - 20 région annulaire (rc) est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité (4) de grande taille.

- ### 2. Fibre optique selon la revendication 1, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la distance moyenne entre le
- 25 périmètre extérieur (Ca) de la deuxième région annulaire (rb) et le périmètre intérieur (Cb) de la troisième région annulaire (rc) est inférieure au quart de la dimension moyenne d'une cavité (4) de grande taille.

- ### 3. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes,
- 30 caractérisée en ce que la première région annulaire (ra) comprend des cavités (2)

de petite taille dont la section transversale reste strictement inférieure au premier seuil.

4. Fibre optique selon la revendication 3, caractérisée en ce que, dans
5 une section transversale de la fibre optique, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique, lorsqu'il balaye angulairement un secteur angulaire entre deux cavités (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb), rencontre au moins, une cavité (2, 3) appartenant soit à la deuxième région annulaire (rb) soit à la première région annulaire (ra), sur au
10 moins une partie du secteur angulaire balayé.

5. Fibre optique selon la revendication 4, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la distance moyenne entre le périmètre extérieur de la première région annulaire (ra) et le périmètre intérieur de
15 la deuxième région annulaire (rb) est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité (3) de moyenne taille.

6. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, parmi les cavités (4) de grande taille appartenant à la
20 troisième région annulaire (rc), au moins 10 cavités (4) de grande taille sont situées sur une même couche annulaire et présentent chacune un rapport entre d'une part leur plus grande dimension et d'autre part la distance du centre de la cavité (4) au centre du cœur qui est supérieur à 0.3.

7. Fibre optique selon la revendication 6, caractérisée en ce que, parmi
25 les cavités (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb), au moins 10 cavités (3) de moyenne taille sont d'une part situées sur une même couche annulaire et d'autre part angulairement décalées par rapport aux cavités (4) de grande taille de manière être situées en regard des espaces (e) existant
30 entre cavités (4) de grande taille.

8. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'espace (e) situé entre deux cavités (4) de grande taille, qui sont contiguës et qui appartiennent à la troisième région annulaire (rc), est
5 inférieur à la longueur d'onde d'utilisation de la fibre optique.

9. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième région annulaire (rb) et la troisième région annulaire (rc) sont circulaires et en ce que la première région annulaire (ra) est
10 hexagonale.

10. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension (Φ_{ext}) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est
15 inférieure à $30\mu\text{m}$.

11. Fibre optique selon la revendication 10, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension (Φ_{ext}) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à $25\mu\text{m}$.
20

12. Fibre optique selon la revendication 11, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension (Φ_{ext}) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à $20\mu\text{m}$.

13. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que , dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à $10\mu\text{m}^2$.
25

14. Fibre optique selon la revendication 13, caractérisée en ce que , dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à $5\mu\text{m}^2$.

5 **15.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1530nm et 1570nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km.

10 **16.** Fibre optique selon la revendication 15, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1500nm et 1625nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km.

15 **17.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications 15 à 16, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique à 1550nm de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km.

20 **18.** Fibre optique selon la revendication 17, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1500nm et 1625nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km.

25 **19.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce qu'une longueur d'onde de dispersion nulle soit comprise entre 1530nm et 1570nm.

20. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la répartition des cavités (2) dans la première région annulaire (ra) présente au plus deux symétries axiales.

5

21. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le cœur (1) est dopé avec une terre rare.

22. Cavité laser comprenant une fibre optique selon la revendication 19.

10

23. Amplificateur comprenant une fibre optique selon la revendication 19.

24. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le cœur est dopé avec un élément ou plusieurs éléments parmi le germanium, le phosphore, le plomb, le bismuth, le lithium ou le niobium.

15

25. Dispositif d'amplification Raman comprenant une fibre optique selon la revendication 24.

26. Dispositif de conversion en longueur d'onde comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

20

27. Dispositif de démultiplexage en longueur d'onde comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

25

28. Dispositif de régénération optique de signal optique comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

29. Dispositif de filtrage optique incluant un absorbant saturable et comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

30

30. Fibre optique comprenant :

- un cœur central (1) ;
 - une gaine (rb et rc) entourant le cœur central (1) et comprenant des
- 5 cavités (3, 4) ;
- et présentant, entre 1530nm et 1570nm :
- une surface effective inférieure ou égale à $10\mu\text{m}^2$;
 - une dispersion chromatique inférieure, en valeur absolue, à 3
- 10 ps/nm.km ;
- caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 70 cavités disposées de manière à ce que l'atténuation globale de la fibre optique reste inférieure à 10dB/km.

15 **31.** Fibre optique selon la revendication 30, caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 50 cavités.

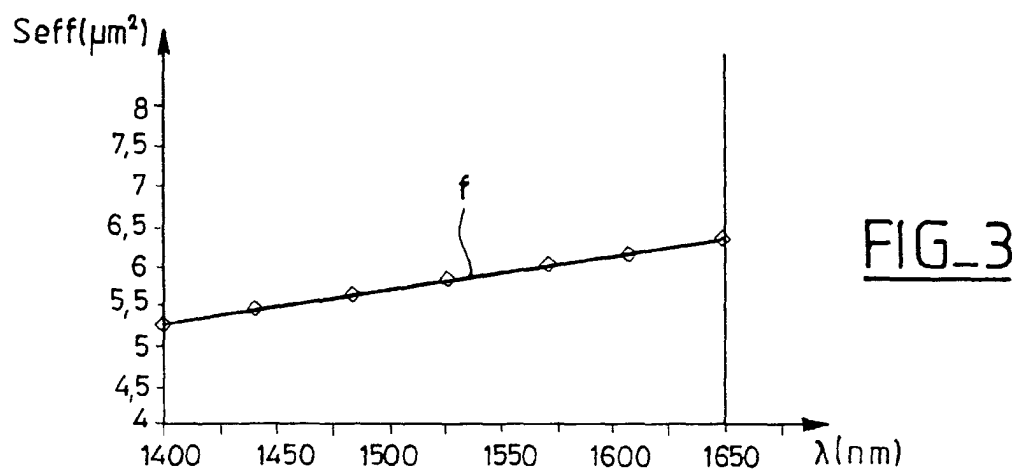
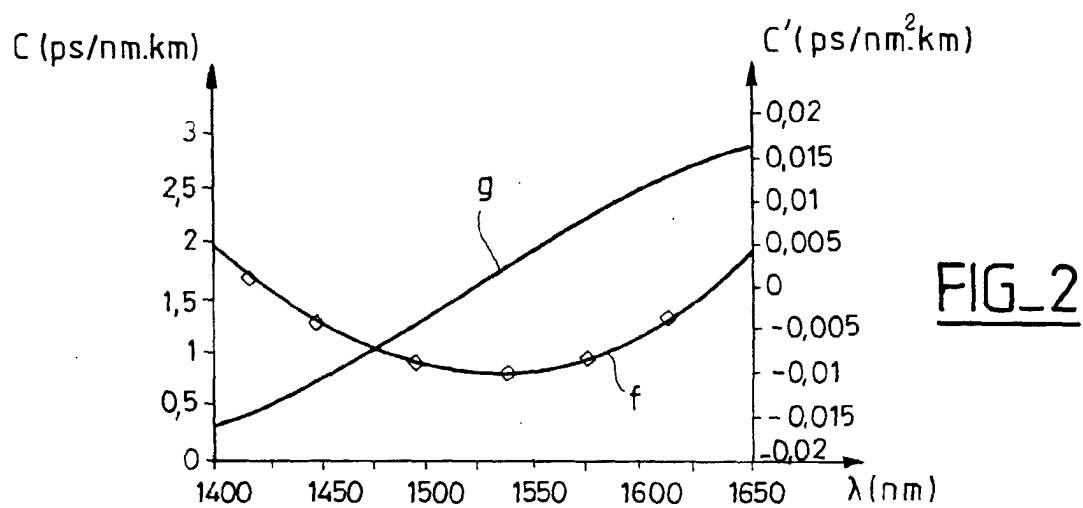
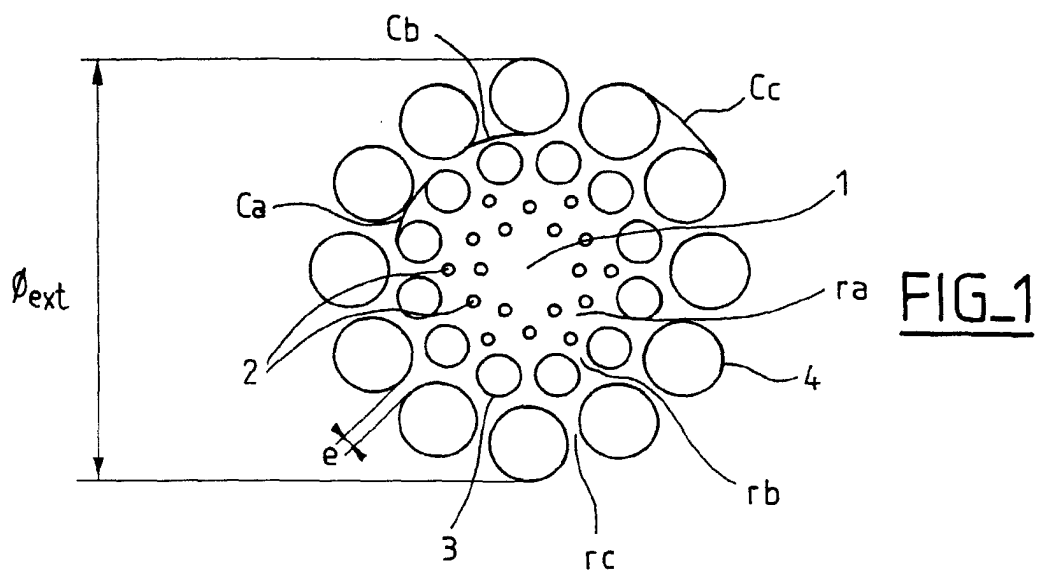
32. Fibre optique selon la revendication 6, caractérisée en ce que les cavités (4) de grande taille appartenant à la troisième région annulaire (rc) et étant situées sur une même couche annulaire sont au nombre de 12.

20

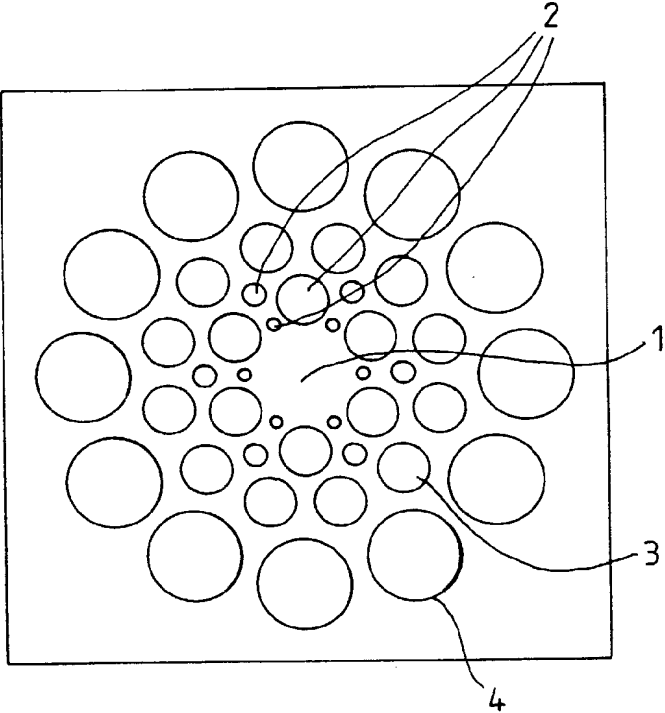
33. Fibre optique selon la revendication 7 ou selon la revendication 32, caractérisée en ce que les cavités (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb) et étant situées sur une même couche annulaire sont au nombre de 12.

25

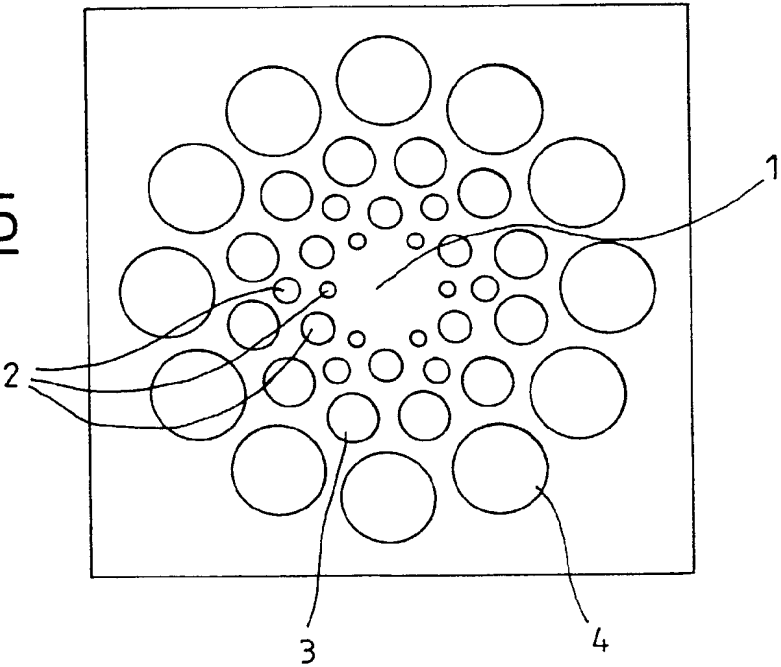
1/6



FIG_4

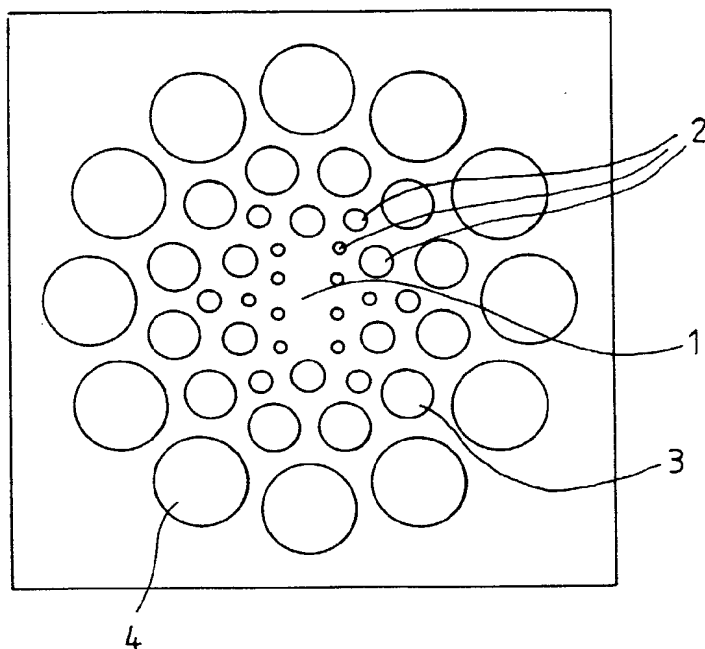


FIG_5

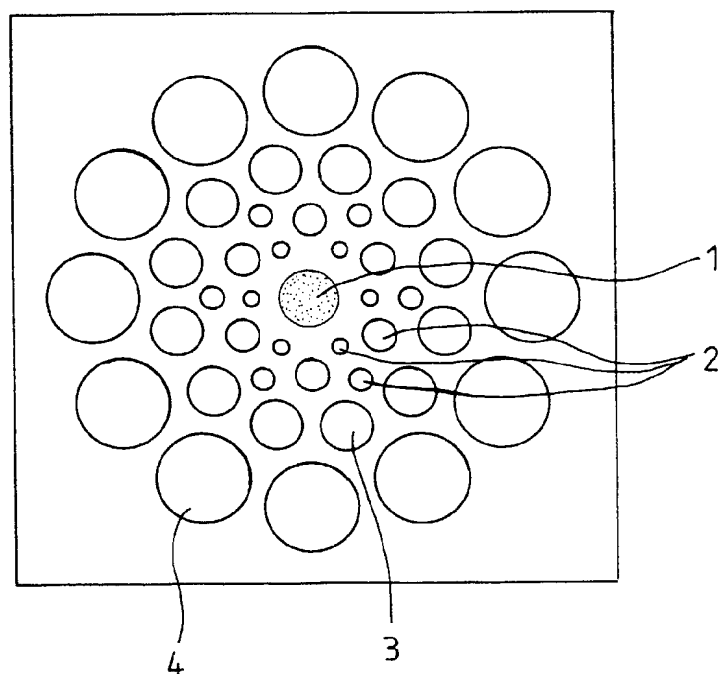


3/6

FIG_6

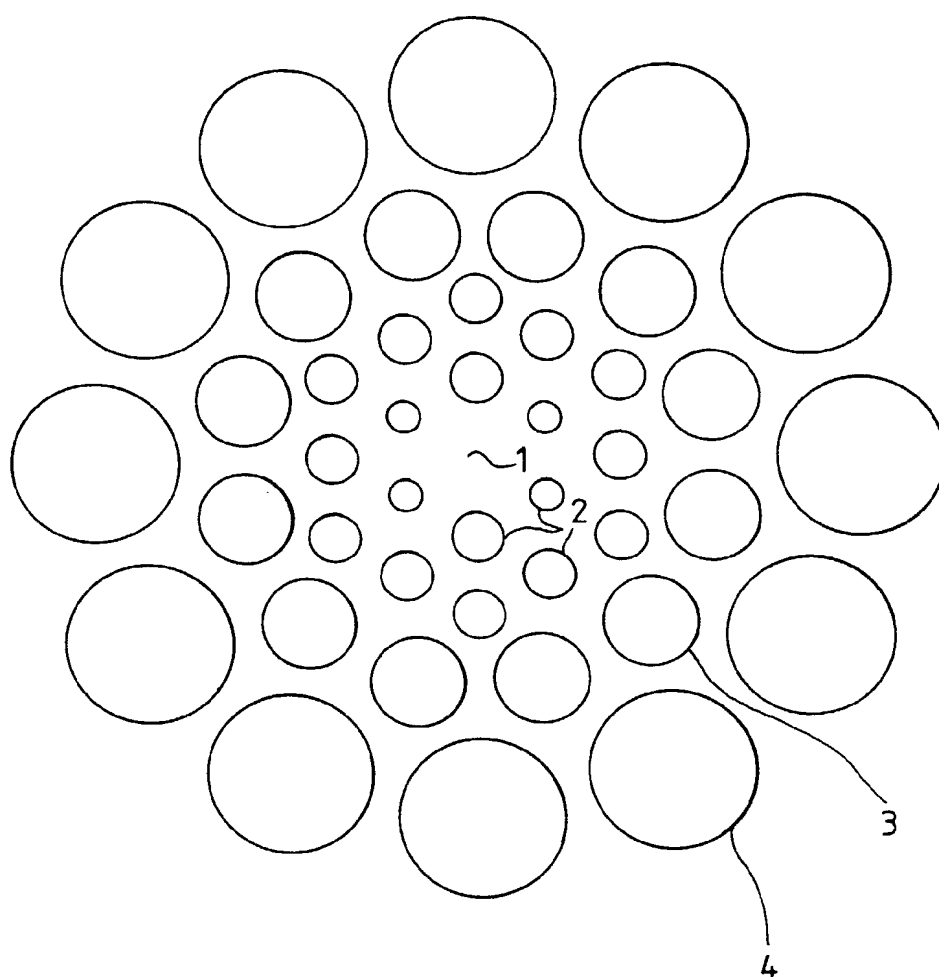


FIG_7



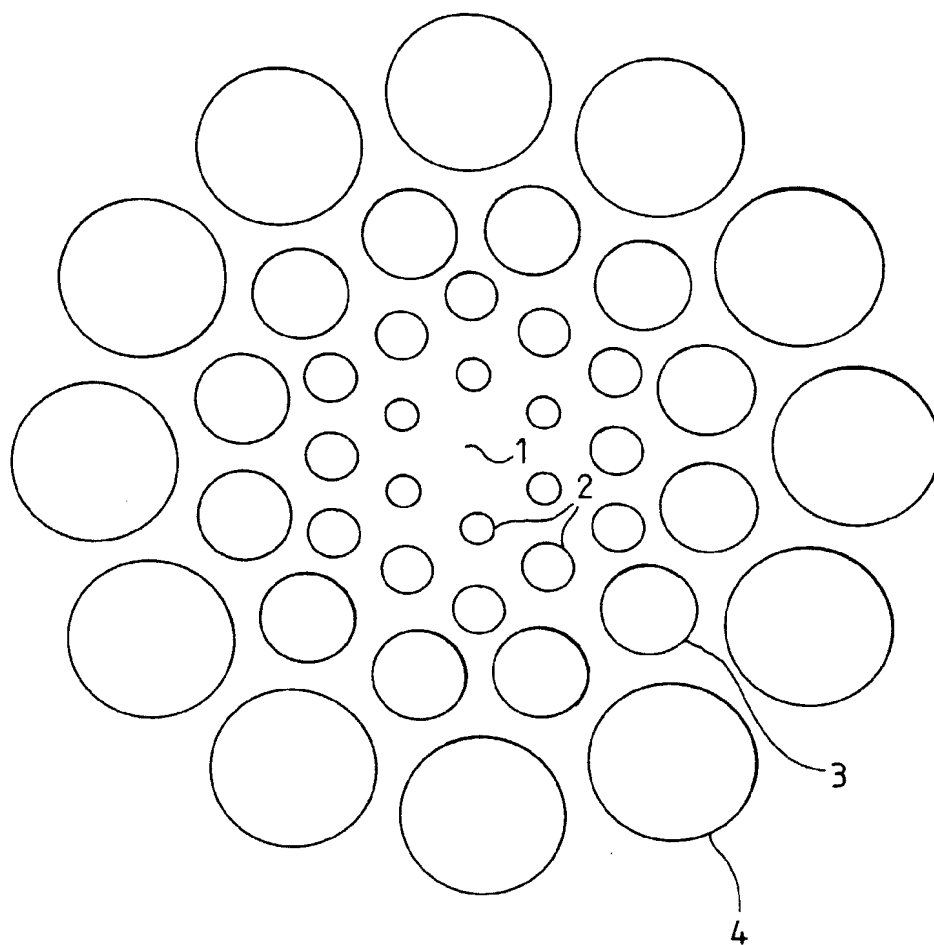
4/6

FIG_8

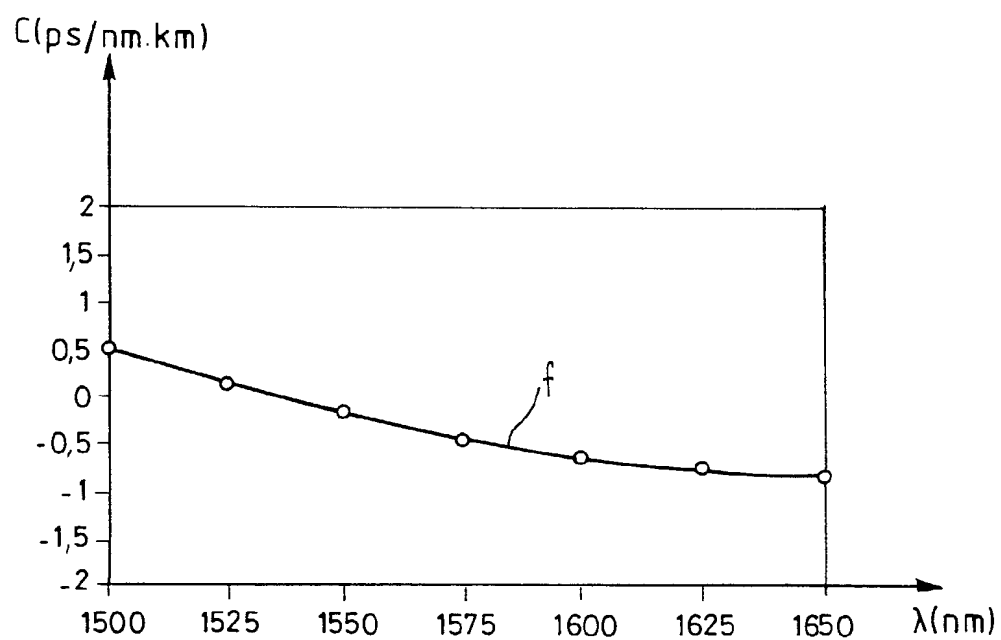


5/6

FIG_9



6/6

FIG_10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2005/000803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B6/22 H01S3/067

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G02B H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/061176 A1 (NIELSEN MARTIN DYBENDAL ET AL) 23 May 2002 (2002-05-23) cited in the application paragraphs '0216!, '0217!, '0219!, '0220!; figure 39	1-4, 6-8, 20-28, 32, 33
X	US 2003/012535 A1 (TOWN GRAHAM) 16 January 2003 (2003-01-16) cited in the application paragraphs '0035! - '0044!; figure 1	1-6, 8, 9
X	US 2003/190129 A1 (BASSETT IAN ET AL) 9 October 2003 (2003-10-09) paragraphs '0029! - '0036!; figures 1, .3	1, 3, 4, 7, 8
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 July 2005

Date of mailing of the international search report

27/07/2005

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Riblet, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/000803

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>SAITOH K ET AL: "CHROMATIC DISPERSION CONTROL IN PHOTONIC CRYSTAL FIBERS: APPLICATION TO ULTRA-FLATTENED DISPERSION" OPTICS EXPRESS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC,, US, vol. 11, no. 8, 21 September 2003 (2003-09-21), pages 843-852, XP001188201 ISSN: 1094-4087 figures 5,6</p> <p>-----</p>	<p>1-4, 6-8, 10-19, 30, 31</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2005/000803

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002061176 A1	23-05-2002	AU 8174101 A WO 0212931 A2 GB 2380812 A ,B	18-02-2002 14-02-2002 16-04-2003
US 2003012535 A1	16-01-2003	NONE	
US 2003190129 A1	09-10-2003	AU 7222901 A WO 0216983 A1	04-03-2002 28-02-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2005/000803

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G02B6/22 H01S3/067

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G02B H01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2002/061176 A1 (NIELSEN MARTIN DYBENDAL ET AL) 23 mai 2002 (2002-05-23) cité dans la demande alinéas '0216!, '0217!, '0219!, '0220!; figure 39	1-4, 6-8, 20-28, 32, 33
X	US 2003/012535 A1 (TOWN GRAHAM) 16 janvier 2003 (2003-01-16) cité dans la demande alinéas '0035! - '0044!; figure 1	1-6, 8, 9
X	US 2003/190129 A1 (BASSETT IAN ET AL) 9 octobre 2003 (2003-10-09) alinéas '0029! - '0036!; figures 1, .3 ----- -/--	1, 3, 4, 7, 8

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

19 juillet 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

27/07/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Riblet, P

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2005/000803

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>SAITOH K ET AL: "CHROMATIC DISPERSION CONTROL IN PHOTONIC CRYSTAL FIBERS: APPLICATION TO ULTRA-FLATTENED DISPERSION" OPTICS EXPRESS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC,, US, vol. 11, no. 8, 21 septembre 2003 (2003-09-21), pages 843-852, XP001188201 ISSN: 1094-4087 figures 5,6</p> <p>-----</p>	<p>1-4,6-8, 10-19, 30,31</p>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2005/000803

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002061176 A1	23-05-2002	AU 8174101 A WO 0212931 A2 GB 2380812 A , B	18-02-2002 14-02-2002 16-04-2003
US 2003012535 A1	16-01-2003	AUCUN	
US 2003190129 A1	09-10-2003	AU 7222901 A WO 0216983 A1	04-03-2002 28-02-2002